

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 111 (1993)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Windkanaluntersuchungen als Hilfsmittel zur stadtklimatologischen  
Baufolgenabschätzung  
**Autor:** Zenger, A. / Bächlin, W. / Lohmeyer, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78134>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Windkanaluntersuchungen als Hilfsmittel zur stadtklimatologischen Baufolgenabschätzung

## Einleitung

Die fortschreitende Verdichtung und Erhöhung der Bausubstanz in unseren Städten erfordert eine zunehmende

VON A. ZENGER, W. BÄCHLIN,  
A. LOHMEYER,  
KARLSRUHE

Berücksichtigung klimatischer und lufthygienischer Faktoren in der Stadtplanung. Bei der Errichtung einzelner oder mehrerer, die mittlere Bebauungshöhe stark überschreitender Gebäude, stellt sich im Rahmen der Abschätzung der umweltrelevanten Auswirkungen für den Stadtplaner unter anderem die Frage, inwieweit sich durch die geplanten Baumassnahmen

- die grossräumige Durchlüftung im Planungs- sowie im angrenzenden Gebiet
- die kleinskalige Abgasausbreitung
- der Wind- und Klimakomfort an besonders exponierten Punkten ändert.

Die Analyse dieser Fragestellungen erfordert eine Untersuchung der Wind-, Turbulenz- und Ausbreitungsverhältnisse innerhalb einer Skalierung von wenigen Metern (Skalenbereich für Änderungen des Windkomforts) bis zu etwa einem oder mehreren Kilometern (Reichweite einer modifizierten Durchlüftung). Daraus ergeben sich prinzipielle Schwierigkeiten bei der Wahl der möglichen Untersuchungsmethoden. Während es mit numerischen Modellen durchaus möglich ist, das Strömungsfeld um Einzelgebäude (z.B.) K- $\epsilon$ -Modell) oder die Umströmung einer Stadt (mesoskalige Modelle) zu simulieren, ist die Berechnung eines dreidimensionalen Strömungsfeldes innerhalb eines strukturierten Siedlungsgebietes mit der geforderten räumlichen Auflösung und Genauigkeit nur bedingt und mit starken Vereinfachungen zu realisieren. Für eine genaue Analyse der innerstädtischen Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse bieten sich daher Untersuchungen in Grenzschichtwindkanälen an.

## Der Windkanal als Untersuchungsmethode

Die Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen im Windkanal ist ein erprobtes und bewährtes Verfahren, um komplexe strömungsdynamische Situationen zu simulieren und zu analysieren. Dazu wird das zu untersuchende Stadtgebiet je nach Fragestellung als Modell in einem Massstab zwischen 1:200 und 1:1000 nachgebildet und in den Windkanal eingebaut. Als Beispiel ist in Bild 1 ein solches Windkanalmodell des Stadtgebietes von Karlsruhe im Ist- und im Planzustand (nach der Realisierung von mehreren bis zu 60 m hohen Solitärbauwerken) dargestellt.

Bild 2 zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus eines Grenzschicht-

windkanals. In einem Grenzschichtwindkanal wird die bodennahe atmosphärische Grenzschicht (dies ist der Atmosphärenbereich unterhalb von etwa 500 m bis 1000 m) für neutrale Schichtung naturgetreu nachgebildet. Der vertikale Windgradient (d.h. die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe) und das Turbulenzfeld stimmen dadurch mit den entsprechenden Grössen in der Natur massstabgerecht überein. Nach dem Einbau des zu untersuchenden Stadtmodells in den Windkanal können an allen interessierenden Punkten Wind- und Ausbreitungsuntersuchungen durchgeführt werden. Eine zusammenfassende Beschreibung der Windkanalmethodik sowie der zugrundeliegenden modellphysikalischen Gesetzmässigkeiten finden sich z.B. in Plate (1982), Bächlin und Plate (1987) oder Schatzmann et al. (1986). Die Übertragbarkeit der gewonnenen Resultate auf Naturbedingungen ist durch eine Vielzahl von Vergleichsuntersuchungen abgesichert (siehe z.B. Lohmeyer [1984]).

Die Anwendung von Windkanaluntersuchungen bei stadtklimatologischen Fragestellungen soll nachfolgend für

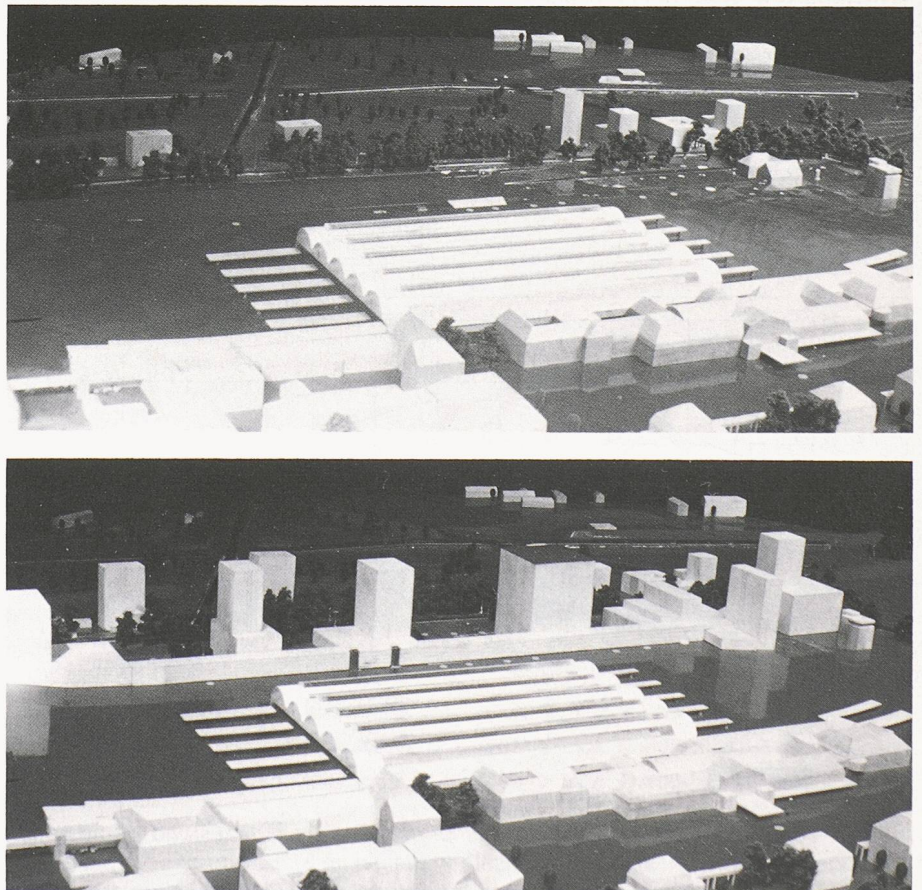


Bild 1. Windkanalmodell eines Untersuchungsgebietes innerhalb der Stadt Karlsruhe. Die obere Abbildung zeigt den Ist-, die untere den Planzustand

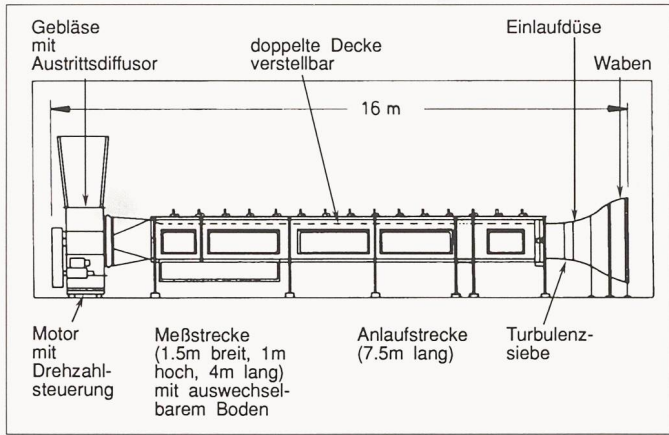


Bild 2. Aufbau eines Grenzschichtwindkanals. Strömungsrichtung von rechts nach links

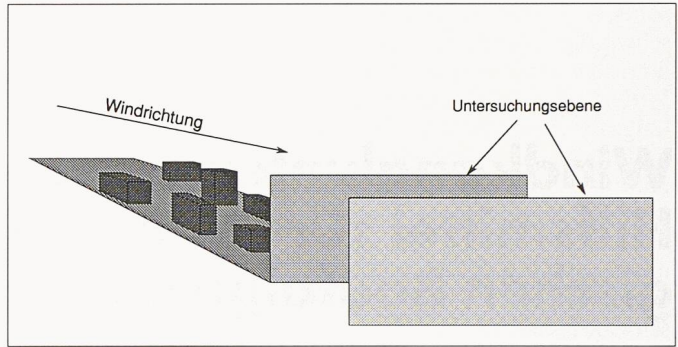


Bild 3. Die Auswirkungen einer geplanten Bebauung auf die Durchlüftung des angrenzenden Siedlungsgebietes. Die Messebenen, innerhalb derer die Windgeschwindigkeit und die Turbulenz gemessen werden, befinden sich in Lee der Baumassnahme

drei typische Problembereiche vorgestellt werden.

**Anwendungsgebiete**

**Untersuchung der Durchlüftungsänderung**

Eine höhere Bebauung vergrößert die aerodynamische Rauigkeit im Bereich des Stadtgebietes. Damit geht meist eine grossräumige Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit in Lee (d.h. auf der windabgewandten Seite) der geplanten Bebauung einher. Windkanalmessungen der mittleren Geschwindigkeit und der Turbulenz in mehreren vertikalen Ebenen in der Lee geplanten Baumassnahmen (siehe Bild 3) verdeutlichen deren Auswirkung auf das städtische Windfeld. Ein Vergleich der im Planzustand mit den im Istzustand gewonnenen Resultate zeigt die zu erwartenden strömungsdynamischen Änderungen.

In Bild 4 ist das Ergebnis einer derartigen Untersuchung dargestellt. Die Untersuchungsebene befand sich bei dieser Messung ca. 200 m in Lee der geplanten Bebauung. Wie man aus dem Bild 4 erkennt, wurde die mittlere Windgeschwindigkeit in einem Abstand von 200 m in Lee der Bebauung durch die geplanten Baumassnahmen im Vergleich zum Istzustand innerhalb einiger Bereiche um mehr als 40% reduziert. Die Ausdehnung mit einer Geschwindigkeitsreduzierung von mehr als 10% beträgt ca. 400 m quer zur Windrichtung.

Durch die Anbindung der im Windkanal für verschiedene Windrichtungen erhaltenen Resultate an die Windstatistik des Untersuchungsortes kann eine erste Aussage über das Ausmass der innerstädtischen Durchlüftungsänderung und einer Modifikation des Abluftabtransportes getroffen werden. Mit Hilfe der Ergebnisse ist es darüber hinaus möglich, eine eventuelle Gefährdung

der angrenzenden Bebauung durch extreme momentane Spitzenwerte der Windgeschwindigkeit (Abdecken von Dächern etc.) zu beurteilen.

**Untersuchung lokaler Arbeitsvorgänge und Immissionsänderungen**

Die Informationen über baubedingte Modifikationen der mittleren Windgeschwindigkeit und der Turbulenz reichen meist nicht aus, um die zu erwartenden Verdünnungs- und Ausbreitungsverhältnisse zu beurteilen. In Rezirkulationszonen von Gebäuden oder in besonderem Masse in Strassenschluchten (Bild 5) kann es durch eine «Walzenbildung» trotz hoher örtlicher Windgeschwindigkeiten zu einer Anreicherung von Schadgasen oder Wärme kommen.

Die räumliche Struktur des Strömungsfeldes kann im Windkanal mit Hilfe eines Laserschnittbild-Verfahrens sichtbar gemacht und anschliessend ausgewertet werden. Dabei wird die Luftbewegung mit Hilfe von Rauch visualisiert und das Strömungsfeld durch einen aufgeweiteten Laserstrahl in nur einer dünnen Ebene beleuchtet. Als Beispiel einer solchen Strömungsvisualisierung ist in Bild 6 das Wind- und Konzentrationsfeld hinter einem Hochhaus dargestellt. Deutlich erkennt man die Rezirkulationszone hinter dem Gebäude, innerhalb derer ein Grossteil des in Bodennähe in Lee des Hochhauses freigesetzten Rauches bis zur maximalen Gebäudehöhe verwirbelt wird. Eine Untersuchung der Ausbreitung eines entsprechend den Naturvorgaben freigesetzten Tracergases ermöglicht die genaue Quantifizierung der Ausbreitungs- und Verdünnungsverhältnisse und erlaubt eine exakte Prognose des zu erwartenden Immissionsfeldes.

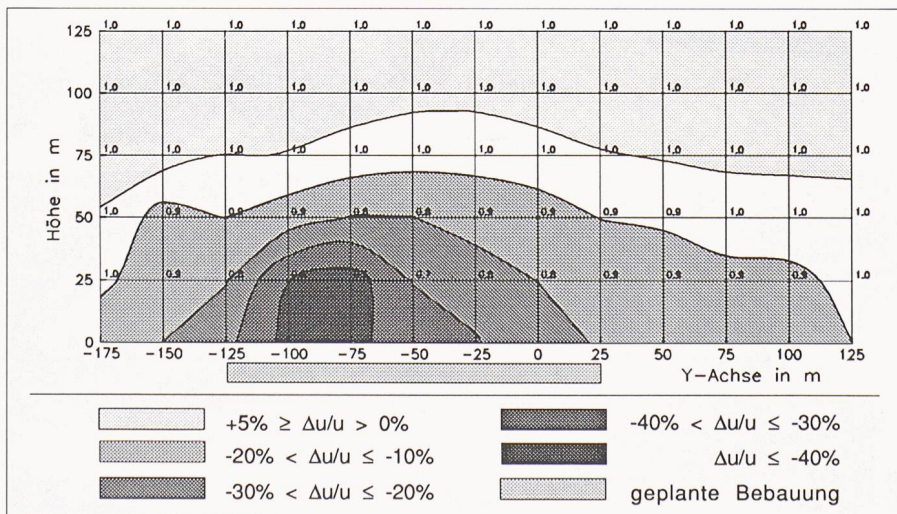


Bild 4. Verhältnis der in einer Untersuchungsebene im Planzustand gemessenen Windgeschwindigkeit zu der an denselben Stellen im Istzustand beobachteten Geschwindigkeiten. Bei dieser Untersuchung wurde im Planzustand unterhalb von 30 m eine maximale Windgeschwindigkeitsreduzierung von mehr als 40%, oberhalb von 50 m eine maximale Zunahme von bis zu 5% beobachtet

**Flächenhafte Darstellung des Bodenwindfeldes**

Eine Lokalisierung möglicher stadtklimatologisch relevanter Punkte mit be-

sonders hohen oder niedrigen Geschwindigkeiten innerhalb und ausserhalb des geplanten Bauvorhabens erfordert eine flächendeckende Darstellung des Bodenwindfeldes im Ist- und im Planzustand. Dies wird im Windkanal mit Hilfe von sogenannten «Sanderosionsversuchen» realisiert. Dazu wird das zu untersuchende Stadtmodell mit einer dünnen Sandauflage in den Windkanal eingebaut und die Windgeschwindigkeit schrittweise erhöht. In den am ehesten von Sand befreiten Gebieten tritt (im Vergleich zur Umgebung) lokal die höchste Bodenwindgeschwindigkeit auf. Innerhalb der Bereiche, die auch bei hohen Anströmgeschwindigkeiten noch mit Sand bedeckt bleiben, herrschen (im Vergleich zur Umgebung) nur relativ niedrige Windgeschwindigkeiten. Hohe Geschwindigkeiten werden dabei besonders an den seitlichen Rändern bzw. zwischen Hochhäusern (z.B. Düseneffekt), niedrige Geschwindigkeiten besonders in Abschattungsgebieten beobachtet. Als Beispiel ist in der Bild 7 eine flächendeckende Darstellung des Bodenwindfeldes im Bereich des Karlsruher Bahnhofes (im Planzustand) dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht die komplexe Struktur des Bodenwindfeldes. Bereiche mit besonders niedrigen Geschwindigkeiten werden vor allem in Lee, Bereiche mit besonders hohen Geschwindigkeiten besonders an den Rändern der Gebäude beobachtet.

Diese Ergebnisse der Sanderosionsversuche erlauben erste Entscheidungen über eine optimale Anordnung von Einzelgebäuden oder Gebäudegruppen. Die qualitative flächendeckende Information über die Struktur des Bodenwindfeldes ermöglicht darüber hinaus die Lokalisierung kritischer Punkte mit besonders hohen bzw. niedrigen Windgeschwindigkeiten, an denen ortsspezifische Messungen zum Wind- und Klimakomfort sowie zur Abgasausbreitung durchzuführen sind.

**Windkomfort**

Der Windkomfort ist ein Mass zur Beurteilung der Akzeptanz und der sicherheitsrelevanten Effekte von Windeinwirkungen. Er hängt davon ab, wie häufig innerhalb eines Jahres an einem Ort bestimmte Schwellenwerte der Bodenwindgeschwindigkeit überschritten werden. Als Beurteilungskriterium wird von manchen Autoren die mittlere, von anderen eine «effektive» Windgeschwindigkeit angegeben. Die effektive Windgeschwindigkeit bezieht die ortsspezifische Turbulenz mit ein und ist wegen der Berücksichtigung der tatsächlich auftretenden «Windgeschwindigkeitsspitzen» als Kriterium zu bevorzugen.

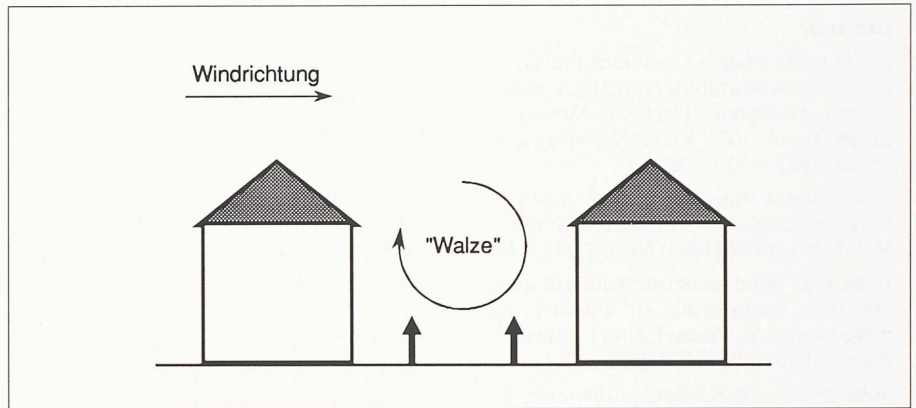


Bild 5. Walzenbildung innerhalb einer Strassenschlucht. Durch das lange Verbleiben der Abgase innerhalb des Strassenbereiches kann es zu einer Anreicherung von Schadgasen und Wärme kommen

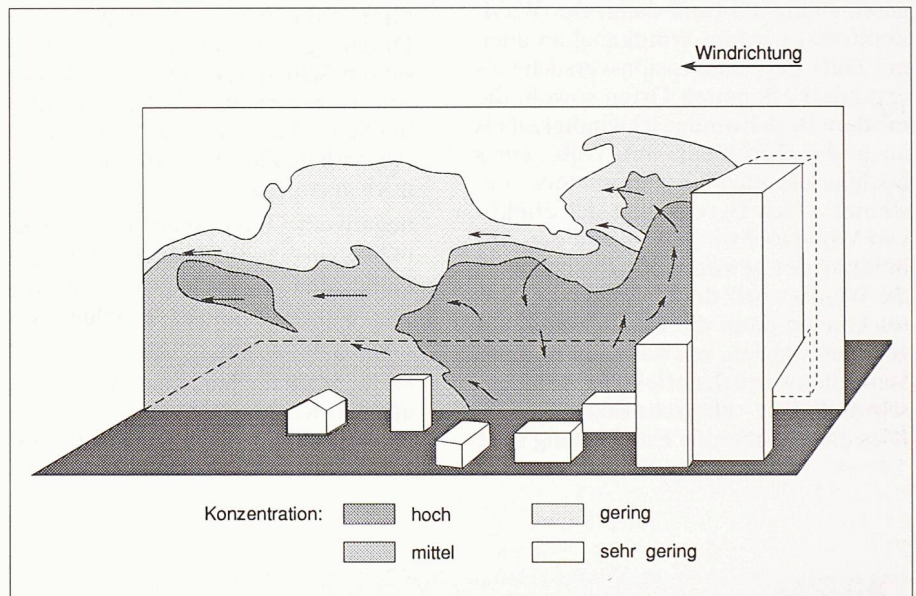


Bild 6. Mit Hilfe eines Laserschnittbildverfahrens visualisiertes und mit einem Grafiksystem umgesetztes Strömungs- und Konzentrationsfeld hinter einem speziell geformten Hochhaus. Die Rauchquelle befand sich am Boden in Lee des Gebäudes

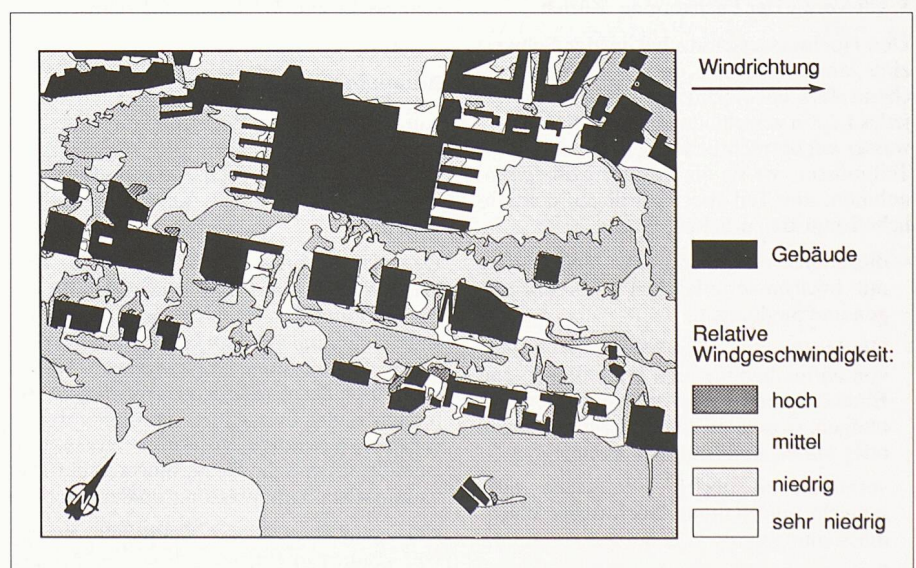


Bild 7. Ergebnis eines Sanderosionsexperiments. Die Unterteilung der schraffiert unterlegten Gebiete in relative Geschwindigkeitsklassen ist in der Legende dargestellt

**Literatur**

Bächlin, W.; Plate, E. J.: Windkanalsimulation von Ausbreitungsvorgängen in bebauten Gebieten. Dechema-Monographien Band 107, VCH Verlagsgesellschaft, 1987, S 313–330.

Lohmeyer, A.: Simulierung von Ausbreitungsvorgängen im Windkanal. Staub – Reinhalt. Luft 44 (1984) Nr. 5, S. 244–249.  
Plate, E.J.: Wind tunnel modelling of wind effects in engineering. In: Engineering meteorology, E. Plate (Editor), Elsevier-Amsterdam 1982, S 573–636.

Schatzmann, M.; König, G.; Lohmeyer, A.: Physikalische Modellierung mikrometeorologischer Vorgänge im Windkanal. Meteorol. Rdsch. 39 (1986), S. 44–59.

Zur Bestimmung der effektiven Windgeschwindigkeit (und damit des Windkomforts) wird im Windkanal an allen mit Hilfe der Sanderosionsversuche als exponiert erkannten Orten sowohl die mittlere Bodenwindgeschwindigkeit als auch die Turbulenz mit Hilfe eines hochauflösenden Anemometers bestimmt. Nach Berechnung der effektiven Windgeschwindigkeit und der Anbindung der gewonnenen Resultate an die Windstatistik des Untersuchungsortes können dann die Häufigkeiten angegeben werden, mit denen bestimmte Schwellenwerte der effektiven Windgeschwindigkeit überschritten werden. Dies ermöglicht eine Empfehlung über

die vorgesehene Nutzung der untersuchten Gebiete. Je nach Häufigkeit, mit der bestimmte Bodenwindgeschwindigkeiten überschritten werden, unterteilt man die Gebiete in Bereiche mit:

- uneingeschränktem Windkomfort: dort können problemlos Parks, Spielplätze, Strassencafés, etc. eingerichtet werden
- vertretbarem Windkomfort: Ein Aufenthalt führt noch zu keinem Diskomfort, die Nutzung durch z.B. Wartebereiche, Einkaufspassagen oder ähnliches ist möglich
- eingeschränktem Windkomfort: Es ist häufig zugig, Zeitungsleser z.B. werden durch das selbständige Umblättern und Durcheinanderwirbeln ihrer Magazine belästigt, beim Durchzug von Fronten haben Passanten Schwierigkeiten beim Benutzen von Schirmen, etc. Als Eingangsbereiche, Passagen und für kurzen Aufenthalt sind diese Bereiche dennoch vertretbar
- negativem Windkomfort: unangenehme, lästige Begleiterscheinungen
- Gefährdungsbereiche: Gefährdung von Fahrradfahrern, problemloses Laufen ist beeinträchtigt
- Gefahrenbereiche: Die Windkraft auf den Körper führt in einer als relevant anzusehenden Zeit der Jahres-

stunden zu einer Gefährdung von Passanten.

Über die Bestimmung des Windkomforts hinaus kann im Windkanal durch den Einbau von Windschutzmassnahmen in das Stadtmodell die Auswirkung und die Effektivität derselben überprüft werden.

**Schlussfolgerung**

Stadtklimatische Fragestellungen wie die Prognosen der Durchlüftung, der Lufthygiene und des Windkomforts können mit Hilfe von Windkanaluntersuchungen für alle zur Diskussion stehenden Varianten flächendeckend beantwortet werden. Die Ergebnisse ermöglichen es dem Architekten und Planer unter Berücksichtigung der luftseitigen umweltrelevanten Auswirkungen der geplanten Bauwerksvarianten, in einem zeitlich frühen Stadium über die Nutzung von neu zu strukturierenden Siedlungsgebieten zu entscheiden. Eine vergleichende Analyse mit dem Istzustand ist möglich, so dass die Auswirkungen einer geplanten Bebauung auf die schon vorhandene Nutzung beurteilt werden können.

Adresse der Verfasser: Dr. rer. nat. A. Zenger, Dr.-Ing. W. Bächlin, Dr.-Ing. A. Lohmeyer; Ingenieurbüro Lohmeyer, An der Rossweid 3, 7500 Karlsruhe 41.

**Bücher****Hochwasserrückhaltebecken**

Von Daniel Vischer, Willi H. Hager. 1993, 222 Seiten, zahlreiche Abb. und Tabellen. Format A5, broschiert, Fr. 50.-, ISBN 3 7281 1762 5. vdf Verlag der Fachvereine, Zürich

Der Hochwasserschutz hat in der Schweiz eine lange Tradition und ist dementsprechend stark entwickelt. Dennoch treten fast jedes Jahr in verschiedenen Regionen Hochwasser mit beträchtlichen Schäden auf. Zum Teil müssen wir sie als Naturereignisse hinnehmen, zum Teil aber sind sie auf menschliche Eingriffe zurückzuführen:

- die intensive Nutzung oder Überbauung mit hochwasseranfälligsten Verkehrsanlagen und Siedlungen,
- Hindernisse in Fließgewässern infolge von abflusshemmenden Durchlässen und Eindolungen, Brücken mit zu kleinen Öffnungen, störenden Abwassereinleitungen oder Materialschüttungen usw.,
- veraltete, zu dürtig bemessene oder schlecht unterhaltene Hochwasserschutzmassnahmen,
- Steigerung der Spitzenabflüsse durch menschliche Eingriffe im Einzugsgebiet.

Wie soll der Hochwasserschutz künftig gewährleistet werden? Dieses Kompendium

widmet sich schwerpunktmässig einer ganz bestimmten Hochwasserschutzmassnahme, nämlich der Gestaltung und dem Einsatz von Hochwasserrückhaltebecken. Damit schliesst es eine Lücke in der Fachliteratur.

**Bauen in Europa**

Eurocodes bilden das Rückgrat der Europäischen Normen für die unterschiedlichen industriellen Verfahren in Hochbau und Tiefbau, für ihre Berechnung und Bemessung.

Der Beuth-Verlag plant unter dem Titel «Bauen in Europa» eine Buchreihe, die für die einzelnen Bauarten den jeweiligen Entwicklungsstand auf dem Gebiet der europäischen Baunormung repräsentiert. Neben den einschlägigen Eurocodes werden die aktuellen Aufstellungen der verfügbaren Europäischen Normen, Vornormen und Norm-Entwürfe sowie die Bezugsnormen der ISO in deutscher Sprachfassung wiedergegeben.

Ein erster Band dieser Reihe liegt bereits vor: «Bauen in Europa – Beton und Stahlbeton». 1992, Format A5, Brosch. zirka 530 S., 184 DM. Bestellungen sind an den Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 6, 1000 Berlin 30, zu richten.

**3,5 % plus**

Regenerierbare Energien als Beitrag zu «Energie 2000»

Hrsg. Aktionsgruppe Regenerierbare Energien. 24 Seiten, durchgehend farbig illustriert. Bezug: EDMZ, 3000 Bern, Nummer: 805.066 d.

Mehr Energie? Ja, mehr Sonnenenergie, mehr Umweltwärme, mehr Biomasse! Diese Ziele verfolgen in der ganzen Schweiz private Investoren und öffentliche Unternehmen – mit Erfolg, wie die Beispiele in der neuen Broschüre «3,5% plus» der Aktionsgruppe Regenerierbare Energien des Bundes-Aktionsprogramms «Energie 2000» belegen. Gemeinsames Merkmal der insgesamt acht mit Bild, Text und Kommentaren dargestellten Anlagen ist der ausgeprägte Nischencharakter: Solarenergie, Umweltwärme und Biomasse können an unzählbaren Standorten genutzt werden, falls die Nutzungstechnik an die Energiequelle und an das Verbraucherumfeld angepasst ist.

Diese Erfahrung mit photovoltaischen und solarthermischen Anlagen, mit Holzschnitselfeuerungen und Biogasverwertungen widerlegt all jene unsorgfältigen Beurteilungen, die die Nutzung erneuerbarer Energien aufgrund unvollständiger Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen disqualifizieren. Vielfach spricht die Gesamtbilanz für die Nutzung von Abwärme und Abfällen, von Solarstrahlung und Holzenergie.